

## О возможности существования магнетоэлектрического эффекта в малых магнитных частицах

Т.С. Шапошникова, Р.Ф. Мамин

*Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского ФИЦ Казанский научный центр  
РАН, 420029 Казань, Россия  
e-mail: t\_shap@kfti.knc.ru*

Магнетоэлектрический эффект (МЭ), т.е. возникновение намагниченности при приложении электрического поля или возникновение поляризации при приложении магнитного поля, впервые был предложен Пьером Кюри. Этот эффект изучался в 60-70 годы двадцатого века [1], но, так как, во-первых, он наблюдался только при низких температурах и, во-вторых, возникающие намагниченность и поляризация были малы по абсолютной величине, то практическое применение магнетоэлектрического эффекта было затруднено. В последние годы были синтезированы новые материалы с более привлекательными с практической точки зрения характеристиками (более высокими температурами существования эффекта, большими значениями намагниченности и поляризации и т.д.) [2,3]. Кроме того, в последнее время были синтезированы высококачественные гетероструктуры и композиционные материалы, в которых также был обнаружен МЭ [4].

Магнетоэлектрический эффект часто наблюдается в мультиферроиках, например, в некоторых манганитах, борацитах и гексаферритах [3]. Зарядовое и фазовое расслоение в таких материалах вблизи фазового перехода приводит к образованию малых ограниченных областей с магнитным порядком. Неоднородное магнитное упорядочение в этих областях, а также наличие границы между фазами может приводить к магнетоэлектрическому отклику. Подобный механизм появления поляризации наблюдается в доменных стенках в магнитоупорядоченных материалах. В настоящей работе мы рассматриваем возможность возникновения электрической поляризации в малых шарообразных магнитных частицах, находящихся в парамагнитной матрице.

Неоднородное вихревое распределение намагниченности и связанной с ней неоднородной электрической поляризации в таких малых магнитных частицах было получено нами ранее в рамках феноменологической модели [5]. Микроскопический механизм магнетоэлектрического эффекта обусловлен взаимодействием Дзялошинского-Мории [6,7]. Конкретный вид выражений для намагниченности и поляризации определяется геометрической формой нанообластей. В рамках настоящего доклада будет определена область существования таких состояний.

1. T.H. O'Dell, *The Electrodynamics of Magneto-Electric Media* (North-Holland, Amsterdam) (1970).
2. N.A. Spaldin, R. Ramesh, *Nat. Mater.* **18**, 203 (2019).
3. M. Fiebig, T. Lottermoser, D. Meier, M. Trassin, *Nat. Rev. Mater.* **1**, 16046 (2016).
4. Z. Zhou, S. Zhao, Y. Gao, et al., *Sci. Rep.* **6**, 20450 (2016).
5. T.S. Shaposhnikova, R.F. Mamin, *Ferroelectrics* **576**, 62 (2021).
6. И.Е. Дзялошинский, *ЖЭТФ* **37**, 81 (1960).
7. T. Moriya, *Phys. Rev.* **120**, 91 (1960).